

HUBUNGAN ANTARA JUMLAH ANGKA LEMPENG TOTAL DENGAN JUMLAH ENDOTOKSIN PADA AIR REVERSE OSMOSIS HEMODIALISA

Rita Yuliati¹, Misbahul Subhi², Ike Dian Wahyuni³

^{1,2,3}Prodi Kesehatan Kesling, Stikes Widyagama Husada Malang

Article Info	ABSTRACT
Article history: <i>Received 05/08/2025</i> <i>Revised 20/09/2025</i> <i>Accepted 30/10/2025</i> Keywords: <i>Reverse Osmosis</i> <i>Angka Lempeng Total</i> <i>Endotoksin</i> <i>Hemodialisa</i> <i>Kualitas Mikrobiologi</i>	Air Reverse Osmosis merupakan komponen utama dalam proses hemodialisa yang berfungsi sebagai pelarut cairan dialisat. Kualitas mikrobiologi air Reverse Osmosis sangat berpengaruh terhadap keamanan pasien, terutama terkait dengan kontaminasi endotoksin yang berasal dari dinding sel bakteri Gram-negatif. Penelitian tahun 2025 ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara angka lempeng total (ALT) dan kadar endotoksin pada air Reverse Osmosis di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Penelitian ini menggunakan desain observasional analitik dengan pendekatan <i>cross-sectional</i>. Sampel diperoleh dari satu titik lokasi, yaitu air produk mesin Reverse Osmosis yang sudah siap dialirkan ke mesin hemodialisa. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 20 kali 10 sampel Angka Lempeng Total dan 10 sampel Endotoksin selama lima hari berturut-turut pada dua waktu berbeda setiap harinya, yaitu shift pagi (sekitar pukul 08.00–10.00) dan shift siang (sekitar pukul 13.00–15.00). ALT diperiksa menggunakan metode tuang (<i>pour plate</i>), dan kadar endotoksin diukur dengan alat Nexgen menggunakan metode <i>chromogenic LAL</i>. Berdasarkan hasil uji Spearman, diperoleh nilai koefisien korelasi (<i>r</i>) sebesar $-0,518$ dengan nilai signifikansi (<i>p</i>) sebesar $0,125$ ($p > 0,05$), yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan negatif sedang antara ALT dan kadar endotoksin, namun hubungan tersebut tidak signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Sehingga pada penelitian ini perubahan jumlah Angka Lempeng Total (ALT) tidak memengaruhi jumlah endotoksin.
Corresponding Author: Nama penulis : Rita Yuliati Afiliansi Penulis : Kesehatan Lingkungan, Stikes Widyagama Husada Malang Alamat Penulis : Mojokerto Email : ritayuliati234@gmail.com	

1. PENDAHULUAN

Penyakit ginjal kronik (PGK) merupakan masalah kesehatan global dengan prevalensi yang terus meningkat setiap tahun. Berdasarkan data Global Burden of Disease (GBD) tahun 2019, PGK berada pada peringkat ke-10 sebagai penyebab kematian terbanyak di dunia. Di Indonesia, Survei Kesehatan Indonesia (SKI) tahun 2023 menunjukkan bahwa PGK masih menjadi penyakit kronis yang memberikan beban signifikan terhadap pembiayaan sistem kesehatan. Hemodialisa menjadi salah satu terapi utama bagi pasien PGK stadium akhir. Dalam prosedur ini, air digunakan sebagai pelarut dalam cairan dialisat yang akan bersentuhan langsung dengan darah pasien melalui membran dialiser. Oleh karena itu, kualitas air harus memenuhi standar kemurnian yang tinggi. Air Reverse Osmosis (Reverse Osmosis water) dipilih karena mampu menghilangkan kontaminan biologis dan kimiawi melalui penyaringan membran semi-permeabel. Meskipun telah melalui proses pemurnian, air Reverse Osmosis masih berisiko mengalami kontaminasi mikrobiologi, terutama dari sistem distribusi air yang kurang optimal. Salah satu komponen berbahaya yang dapat muncul akibat kontaminasi ini adalah endotoksin — lipopolisakarida dari dinding sel bakteri Gram-negatif yang dapat memicu reaksi pirogenik, hipotensi, hingga peradangan sistemik yang berbahaya bagi pasien hemodialisa. Untuk menjamin keamanan, standar mutu mikrobiologi air Reverse Osmosis telah ditetapkan dalam ISO 23500-3 (2019), yaitu: Angka Lempeng Total (ALT) < 100 CFU/mL dan endotoksin < 0,25 EU/mL.

ALT mencerminkan jumlah mikroorganisme hidup dalam air dan menjadi indikator umum kualitas sistem distribusi. Jika ALT tinggi, maka risiko pelepasan endotoksin juga meningkat. Namun, keberadaan endotoksin tidak selalu bergantung pada jumlah ALT, karena endotoksin tetap dapat terdeteksi meskipun bakteri sudah mati atau hanya menyisakan fragmen dinding selnya. Beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan ALT dapat berasosiasi dengan kadar endotoksin yang tinggi, terutama di fasilitas dengan sistem distribusi air yang tidak optimal. Sayangnya, penelitian mengenai kualitas mikrobiologi air Reverse Osmosis dan kaitannya dengan endotoksin masih terbatas.

Sehingga perlu diteliti apakah terdapat hubungan yang signifikan antara jumlah angka lempeng total dengan jumlah endotoksin pada air Reverse Osmosis hemodialisa dengan hipotesa kerja (H1) : Terdapat hubungan positif yang signifikan antara jumlah Angka Lempeng Total dengan jumlah endotoksin pada air RO Hemodialisa, dimana peningkatan jumlah Angka Lempeng Total diikuti dengan peningkatan jumlah endotoksin. Hipotesis Statistik (H₀) : Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara jumlah Angka Lempeng Total dengan jumlah endotoksin pada air RO Hemodialisa, sehingga perubahan jumlah Angka Lempeng Total tidak mempengaruhi jumlah Endotoksin.

Rumah Sakit X Kota Mojokerto merupakan salah satu fasilitas rujukan di Jawa Timur dengan beban pelayanan hemodialisa yang tinggi. Berdasarkan data rumah sakit, jumlah tindakan hemodialisa untuk pasien gagal ginjal meningkat sebesar 70,21% selama tahun 2022 hingga 2024. Lonjakan ini mengindikasikan perlunya perhatian terhadap aspek mutu layanan, termasuk kualitas air Reverse Osmosis yang digunakan dalam proses hemodialisa. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan pada tahun 2025 dengan tujuan untuk menganalisis hubungan antara angka lempeng total dan kadar endotoksin pada air Reverse Osmosis di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan mutu pelayanan hemodialisa dan pencegahan risiko komplikasi pada pasien gagal ginjal kronik.

2. METODE PENELITIAN

2.1 DESAIN PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian observasional analitik dengan desain cross-sectional. Desain ini digunakan untuk mengetahui hubungan antara angka lempeng total (ALT) sebagai variabel bebas dan kadar endotoksin sebagai variabel terikat pada air Reverse Osmosi yang digunakan di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Pendekatan cross-sectional memungkinkan pengamatan terhadap dua variabel pada waktu yang sama, sehingga hubungan antarvariabel dapat diuji tanpa intervensi (Notoatmodjo, 2012). Desain ini dipilih karena sesuai untuk mengidentifikasi potensi risiko mikrobiologis pada sistem air Reverse Osmosis dan dampaknya terhadap keselamatan pasien, tanpa mengubah praktik operasional yang sedang berjalan. Pendekatan ini juga banyak digunakan dalam penelitian kesehatan lingkungan untuk menilai kualitas air pada suatu waktu tertentu.

2.2 LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto, yang memiliki kapasitas pelayanan lebih dari 10 pasien per hari dengan sistem distribusi air Reverse Osmosis sentral. Waktu pelaksanaan dimulai pada awal Mei 2025, selama lima hari kerja berturut-turut. Lokasi dipilih karena rumah sakit ini merupakan salah satu rujukan regional untuk terapi hemodialisa dengan beban kerja tinggi dan sistem Reverse Osmosis yang beroperasi secara kontinu.

2.3 POPULASI DAN SAMPEL

Populasi target dalam penelitian ini adalah air Reverse Osmosis yang telah melalui proses pemurnian dan siap dialirkan ke mesin hemodialisa. Sampel diambil dari satu titik lokasi, yaitu air produk Reverse Osmosis yang keluar dari mesin dan siap digunakan dalam proses dialisis. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 10 kali pada titik yang sama dengan dua pemeriksaan yaitu ALT dan Endotoksin, menggunakan teknik purposive sampling. Pengambilan dilakukan selama dua shift operasional (pagi dan siang), sehingga total adalah 20 sampel uji air Reverse Osmosis.

2.4 VARIABEL PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua variabel utama, yaitu:

1. Variabel Bebas (X): Angka Lempeng Total (ALT)

Angka Lempeng Total (ALT) merupakan jumlah total mikroorganisme hidup yang dapat tumbuh dan berkembang pada media Plate Count Agar (PCA) dalam kondisi aerob. ALT digunakan sebagai indikator tingkat kontaminasi mikrobiologi dalam air Reverse Osmosis, dan dinyatakan dalam satuan CFU/mL (Colony Forming Unit per mililiter).

a. Dimensi: Jumlah total bakteri hidup

b. Indikator:

1) Nilai ALT hasil uji laboratorium

2) Perbandingan terhadap nilai ambang batas < 100 CFU/mL menurut ISO 23500-3:2019

2. Variabel Terikat (Y): Kadar Endotoksin

Endotoksin adalah senyawa lipopolisakarida yang dilepaskan dari dinding sel bakteri Gram-negatif yang mengalami lisis. Dalam konteks hemodialisa, endotoksin sangat berbahaya jika masuk ke dalam darah pasien. Kadar endotoksin diukur dalam satuan EU/mL (Endotoxin Unit per mililiter).

- a. Dimensi: Kandungan endotoksin dalam air Reverse Osmosis
- b. Indikator:
 - 1) Nilai endotoksin hasil uji LAL dengan metode chromogenic
 - 2) Perbandingan terhadap ambang batas maksimum ($< 0,25$ EU/mL)

2.5 TEKNIK PEMERIKSAAN

Seluruh sampel diambil dan diperiksa secara mikrobiologi oleh Petugas yang telah tersertifikasi dari UPTD Laboratorium Kesehatan Kota Mojokerto, UPTD Laboratorium Kesehatan Kota Mojokerto merupakan Laboratorium yang sudah terakreditasi baik KALK maupun KAN sehingga hasil pemeriksaan terjamin keakurasiannya.

- a. Angka Lempeng Total (ALT) diperiksa menggunakan metode *pour plate*. Sampel air sebanyak 1 mL diencerkan secara serial, kemudian dituangkan ke dalam cawan petri yang berisi media Plate Count Agar (PCA) steril. Media diinkubasi pada suhu 35°C selama 2×24 jam dalam kondisi aerob. Koloni mikroorganisme dihitung secara manual menggunakan counter koloni. Hasilnya dinyatakan dalam satuan CFU/mL (Setyono & Wahyuni, 2019).
- b. Kadar Endotoksin diperiksa dengan alat Nexgen PTSTM yang bekerja menggunakan metode *chromogenic* Limulus Amebocyte Lysate (LAL). Sampel air ditetaskan sebanyak 25 μL ke dalam cartridge uji, lalu dimasukkan ke alat untuk proses reaksi enzimatik dan pembacaan spektral. Hasil uji ditampilkan secara digital dalam satuan EU/mL.

2.6 VALIDITAS DAN REABILITAS

Prosedur pemeriksaan dilakukan sesuai dengan SOP laboratorium dan menggunakan peralatan yang telah dikalibrasi. Setiap pengujian dilakukan dengan ulangan ganda untuk meminimalkan bias hasil. Kontrol kualitas dilakukan dengan pembanding media steril dan kontrol endotoksin negatif.

2.7 ANALISIS DATA

Data hasil pemeriksaan diinput ke perangkat lunak SPSS versi 25. Uji normalitas dilakukan dengan Shapiro-Wilk. Karena data tidak berdistribusi normal, maka digunakan uji korelasi Spearman Rank (ρ) untuk mengetahui hubungan antara dua variabel. Nilai signifikansi ditetapkan pada $\alpha = 0,05$. Hasil korelasi dinyatakan signifikan jika $p < 0,05$.

2.8 ETIKA PENELITIAN

Penelitian ini telah memperoleh izin resmi dan disetujui oleh Komite Etik Penelitian Kesehatan Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Penelitian tidak melibatkan intervensi langsung terhadap pasien sehingga tidak menimbulkan risiko etik. Seluruh data dan informasi lokasi sampel dijaga kerahasiaannya sesuai prinsip etika penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL PEMERIKSAAN ANGKA LEMPENG TOTAL DAN ENDOTOKSIN

Pemeriksaan dilakukan terhadap 20 sampel air Reverse Osmosis yang terdiri dari 10 sampel Angka Lempeng Total (ALT) dan 10 sampel endotoksin, masing-masing diambil dari 10 titik distribusi di unit hemodialisa Rumah Sakit X Kota Mojokerto. Setiap 10 sampel tersebut dibagi menjadi dua shift, yaitu 5 sampel pada shift pagi dan 5 sampel pada shift siang. Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa sebagian besar sampel masih berada dalam rentang nilai yang sesuai standar, namun terdapat beberapa sampel yang menunjukkan hasil melebihi ambang batas yaitu pada hasil sampel endotoksin. Berikut adalah ringkasan hasil pengukuran :

Kategori	Nilai ALT (CFU/mL)	Nilai Endotoksin (EU/mL)	Jumlah Sampel
Sesuai standar (aman)	≤ 100	$\leq 0,25$	17
Melebihi batas aman	> 100	$> 0,25$	3

Dari sepuluh sampel, ALT seluruh nilai menunjukkan hasil < 100 CFU/mL, yang berarti masih berada di bawah ambang batas sesuai standar ISO 23500-3 (2019). Sementara itu, untuk kadar endotoksin, tiga dari sepuluh sampel (30%) menunjukkan hasil melebihi batas ambang $> 0,25$ EU/mL, yaitu pada sampel dari shift Senin pagi (0,563 EU/mL), Selasa pagi (0,316 EU/mL), dan Rabu pagi (0,279 EU/mL). Temuan ini menunjukkan adanya potensi kontaminasi endotoksin pada beberapa titik distribusi air Reverse Osmosis.

3.2 HASIL UJI KORELASI

Uji normalitas dengan Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data tidak terdistribusi normal ($p < 0,05$), sehingga analisis dilanjutkan menggunakan uji Spearman Rank. Hasil uji menunjukkan:

1. Koefisien korelasi (ρ) = $-0,518$
2. Nilai signifikansi (p) = $0,125$

Nilai $p > 0,05$ menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan yang signifikan secara statistik antara angka lempeng total dan kadar endotoksin. Korelasi negatif ($\rho = -0,518$) ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi jumlah ALT tidak serta-merta diikuti dengan peningkatan endotoksin. Oleh karena itu, hipotesis alternatif (H_1) ditolak, dan hipotesis nol (H_0) diterima.

3.3 PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menguatkan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa kontaminasi mikroorganisme dalam sistem air Reverses Osmosis dapat menyebabkan peningkatan kadar endotoksin (Cahyadi et al., 2016). Endotoksin berasal dari dinding sel bakteri Gram-negatif yang terlepas saat bakteri mengalami lisis. Oleh karena itu, keberadaan koloni mikroorganisme dalam jumlah tinggi menjadi indikator awal terhadap potensi kontaminasi endotoksin.

Faktor penyebab tingginya ALT dan endotoksin dapat berasal dari:

1. Pertumbuhan biofilm di pipa distribusi air Reverse Osmosis
2. Tangki penyimpanan air yang tidak disanitasi secara rutin

3. Pemeliharaan sistem Reverses Osmosis yang tidak konsisten
 4. Penurunan efisiensi membran Reverses Osmosis akibat umur pakai atau kontaminasi silang
- Biofilm adalah lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan dalam sistem pipa dan dapat melindungi bakteri dari proses pembersihan biasa (Azeredo et al., 2017). Sekalipun sistem Reverses Osmosis mampu menyaring partikel halus dan mikroorganisme, bila terjadi penumpukan dan biofilm tidak dibersihkan, maka kontaminasi tetap dapat terjadi, terutama pada titik akhir distribusi. Selain itu, hasil ini juga menunjukkan bahwa sistem Reverse Osmosis di rumah sakit harus diperiksa tidak hanya pada satu titik, tetapi secara menyeluruh pada seluruh jaringan distribusi air. Hal ini penting karena kualitas air Reverse Osmosis dapat menurun pada titik-titik yang jauh dari sumber utama, terutama jika tidak dilengkapi sistem desinfeksi UV atau pemeliharaan rutin. Penelitian ini juga menegaskan perlunya standarisasi jadwal pemeriksaan mikrobiologi air Reverse Osmosis, minimal dilakukan sebulan sekali, dan disertai pemantauan dokumentasi sanitasi oleh petugas yang kompeten. Pelatihan petugas teknis Reverse Osmosis dan penggunaan catatan pemeliharaan yang ketat dapat meminimalkan risiko kontaminasi. Secara umum, temuan ini memperkuat pentingnya pengawasan terpadu dan preventif terhadap mutu mikrobiologi air Reverse Osmosis dalam pelayanan hemodialisa, guna mencegah insiden iatrogenik akibat endotoksin.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Hasil pemeriksaan kualitas air Reverse Osmosis untuk keperluan hemodialisa menunjukkan bahwa nilai angka lempeng total (ALT) berkisar antara 1 hingga 18 koloni pembentuk unit (CFU/mL), sementara kadar endotoksin berkisar antara 0,100 hingga 0,563 endotoksin unit (EU/mL). Dari sepuluh sampel yang diperiksa, sebanyak tiga sampel (30%) menunjukkan kadar endotoksin melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh standar, yaitu 0,25 EU/mL. Hal ini mengindikasikan adanya potensi kontaminasi endotoksin pada sebagian air Reverse Osmosis yang digunakan, meskipun nilai ALT masih berada dalam batas yang diperkenankan.

Analisis korelasi menggunakan uji Spearman menunjukkan adanya kecenderungan hubungan negatif sedang antara nilai ALT dan kadar endotoksin, dengan koefisien korelasi Spearman's rho sebesar $-0,518$. Namun demikian, hubungan ini tidak signifikan secara statistik ($p = 0,125$). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan atau penurunan jumlah bakteri hidup (ALT) tidak selalu sejalan dengan kadar endotoksin dalam air Reverse Osmosis.

Sebagian besar sampel berada dalam batas aman sesuai standar ISO dan Kementerian Kesehatan RI. Namun, ditemukannya beberapa sampel yang melebihi ambang batas menandakan adanya potensi risiko mikrobiologis yang perlu segera ditindaklanjuti.

Temuan ini menekankan bahwa kualitas mikrobiologi air Reverse Osmosis tidak hanya bergantung pada sistem pemurnian, tetapi juga pada Pemantauan dan pemeliharaan sistem distribusi, kebersihan pipa, dan keberadaan biofilm yang menjadi sumber kontaminasi laten.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan beberapa hal berikut:

1. Monitoring Rutin. Pemeriksaan angka lempeng total dan kadar endotoksin sebaiknya dilakukan minimal satu kali setiap bulan di seluruh titik distribusi air Reverse Osmosis, bukan hanya di tangki utama.
2. Pemeliharaan Sistem Distribusi. Rumah sakit perlu menerapkan program sanitasi berkala pada sistem Reverse Osmosis, termasuk flushing pipa, sterilisasi tangki, dan penggantian filter atau membran yang sudah tidak optimal.
3. Pelatihan Petugas. Petugas teknis yang menangani sistem Reverse Osmosis perlu dibekali dengan pelatihan khusus mengenai sanitasi mikrobiologi, pengawasan sistem air bersih, dan deteksi dini biofilm.
4. Audit Internal dan Dokumentasi. Perlu ada sistem dokumentasi dan audit internal terhadap jadwal perawatan, hasil uji mutu air, serta tindakan korektif yang telah dilakukan untuk mencegah kejadian berulang.
5. Penelitian Lanjutan. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan cakupan lokasi yang lebih luas dan metode molekuler, seperti identifikasi bakteri endotoksinogenik untuk memperkuat temuan dan memahami sumber kontaminasi lebih mendalam.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena dengan limpahan rahmat, hidayah dan nikmat Nya. Pada kesempatan yang baik ini, perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada : Bapak Misbahul Subhi, S.KM., M. KL, selaku dosen pembimbing 1, Ibu Ike Dian Wahyuni, S.KL., M. KL selaku Dosen pembimbing 2 dalam tugas akhir ini. yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan, dan evaluasi dalam penyusunan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Azeredo, J., Azevedo, N. F., Briandet, R., Cerca, N., Coenye, T., Costa, A. R., ... & Oliveira, R. (2017). Critical review on biofilm methods. *Critical Reviews in Microbiology*, 43(3), 313–351. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2015.1114465>
- Cahyadi, I., Susilo, Y., & Nurhayati, N. (2016). Kajian kualitas air Reverse Osmosis (RO) pada unit hemodialisa rumah sakit. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 15(2), 71–78.
- Gulati, M., & Ghosh, M. (2017). Endotoxin contamination in dialysis water and its clinical implications. *Indian Journal of Nephrology*, 27(2), 121–126.
- ISO. (2019). ISO 23500-3: Preparation and quality management of fluids for haemodialysis and related therapies – Part 3: Water for haemodialysis and related therapies. International Organization for Standardization.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 129 Tahun 2023 tentang Standar Pelayanan Hemodialisa. Jakarta: Kemenkes RI.
- Notoatmodjo, S. (2012). Metodologi penelitian kesehatan. Jakarta: Rineka Cipta.
- Riskesdas. (2018). Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar 2018. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI.
- Global Burden of Disease. (2019). GBD Compare Data Visualization. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). Retrieved from <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>
- Setyono, D., & Wahyuni, I. (2019). Uji mikrobiologi terhadap air hasil Reverse Osmosis di rumah sakit menggunakan metode ALT. *Jurnal Laboratorium Medik*, 5(1), 35–41.